

11 décembre 2013 à Hauconcourt

La déconstruction et la reconstruction du pont Rapilly



Le mercredi 11 décembre 2013, la délégation AFGC Grand-Est, a organisé, en partenariat avec le Conseil Général de la Moselle, une journée consacrée à la déconstruction et à la reconstruction du pont Rapilly. Le pont suspendu actuel sera remplacé par un "Bow string" (structure à 2 arcs métalliques). Cette technique permettra d'élargir le pont et d'intégrer des voies sécurisées dédiées aux modes de déplacement doux (piétons, vélos, cavaliers). Mais surtout sa solidité permettra de rétablir le trafic des poids lourds et de l'ouvrir aux convois exceptionnels.

Rappel du programme

12h45 : Accueil des participants à la salle des fêtes de Hauconcourt

13h00 : Mot de bienvenue

Pierre Corfdir, Président de l'AFGC Grand Est

13h05 : **Présentation du projet**

Laurent DufLOT, Consei général de la Moselle

L'ancien pont

Hervé Marneffe, CETE de l'Est

Les différentes solutions envisagées

L'ouvrage : sa conception

Laurent Barbier, groupe Renaissance

Architecte et Hervé Commun, Corredia

L'ouvrage : sa fabrication et sa mise en œuvre

Patrick Van Severen, Victor Buyck Steel Construction

Déconstruction du pont suspendu

Benoit Scherer, Julien André, Demathieu Bard

15h30 : Visite du chantier

16h30 : Fin de la visite

Le contexte

Laurent DufLOT – CG 557

- Ouvrage sous surveillance renforcée depuis les années 1986
- Ouvrage régulièrement fermé à la circulation en hiver
- Profil en travers de moins en moins adapté au statut de la RD52
- Mise en évidence en septembre 2011 d'un risque important pour la pérennité de l'ouvrage
- 14/12/2011 - Réunion publique sous l'égide du Président du CG portant sur le devenir du pont Rapilly – annonce de la reconstruction et du démarrage des travaux en 2013
- Février 2012 - Programmation de l'opération de déconstruction-reconstruction

Le déroulement des travaux

- Janvier à début mai 2012 déroulement des études
- Mai 2012 lancement de la procédure d'appel d'offre
- Septembre 2012 - Choix du groupement Demathieu et Bard - Victor Buyck Steel Construction
- Octobre 2012 - Ordre de service de démarrage des travaux
- Fin décembre 2012 - Commande des aciers de la charpente
- Avril 2013 – démarrage de la fabrication de la charpente
- Juillet 2013 – démarrage de l'assemblage sur site
- Préfabrication des dalles du tablier entre mars et mai 2013

- Mise en œuvre des palées provisoires de mi mars à mi mai 2013
- Déconstruction de l'ouvrage existant de mi mai à mi juillet 2013
- Lançage dans la semaine du 19 au 22 novembre 2013
- Fin des travaux mars 2014

Quelques chiffres

Montant de l'opération : 12,8 M€

Montant du marché : 11,271 M€

Délai de réalisation : 15 mois incluant la période de préparation

Caractéristiques de l'ouvrage

L'ouvrage prévu est constitué :

- d'un bow-string central de 108m de longueur et 2 travées de rive de 37m,
- d'une chaussée de 7m de large,
- d'un cheminement piéton de 1,50m au nord,
- d'une voie verte de 2,50m de large au sud.

Tous les types de convois exceptionnels sont admissibles

- répond aux enjeux de liaisons entre rives de la Moselle

Les particularités de l'ancien pont suspendu

Hervé Marneffe - CETE Est, LR Nancy

1 - Présentation du pont suspendu Rapilly



- RD52 / la Moselle (non naviguée) entre Hauconcourt et Ennery.
- 3 travées : 36m + 108m + 36m
- largeur de chaussée : 6m
- date construction : 1948-52 (inauguration)

Un peu d'histoire

(Source : La reconstruction des ponts en Moselle depuis 1945 de Gilbert Dreyfuss)

Les manifestations régionales

Au lendemain de la 2nd guerre mondiale :

- La Moselle compte 695 ponts détruits (L = 12 km)
- La Moselle est de très loin le 1er département français pour l'importance de ses destructions de ponts : près du dixième de l'ensemble du territoire métropolitain et huit fois plus qu'un département « moyen ».
- Il y eut d'abord des reconstructions provisoires (ponts flottants par exemple) avec des effondrements (1946, le pont provisoire d'Ars-sur-Moselle, puis celui de Freistroff) et la crue de 1947 qui emporta trente cinq ponts provisoires, dont celui de Corny.
- Et parallèlement le début des reconstructions définitives. En progression rapide, % d'avancement de 50 % dès 1951.
Cadence : 60 à 80 ponts/ an de 1947 à 1950, puis 40 /an, puis un rythme trop ralenti de 15/ an en 1956.



L'ancien pont d' Hauconcourt fut dynamité en 1940 par les Français

L'ingénieur en chef des ponts et chaussées de la Moselle responsable de ces reconstructions était Georges RAPILLY.

Le choix original d'un pont suspendu est né tout simplement de la mise à disposition d'un câble de téléphérique récupéré à la fin de la guerre par le ministère des Travaux publics.

Le pont suspendu de Hauconcourt est bâti à partir d'une passerelle suspendue de 112 m de portée centrale et de deux travées d'acier de 40 m récupérées à Paris et à Chamonix en 1945. Les câbles sont fournis par la Société des téléphériques français. Si les allemands n'ont pas jugé utile d'établir un pont provisoire après l'armistice, l'ingénieur des Ponts et Chaussées, dans un rapport de 1950, estime que le chemin départemental 47 présente un intérêt local important pour le développement agricole sur les rives de la Moselle.

Inspection en 1974 (corrosion des câbles au niveau des mors des suspentes).

- Travaux anticorrosion des câbles et des mors, réglage des suspentes en 1986.



- Problème des appareils d'appui

Résolu par étapes : 1988-1989 changements, mais en 1993 des soudures lâchent, reprises, 2001 nouvelles ruptures et réparations provisoires, changement des dispositifs en 2006



Appareils d'appui originaux

Les manifestations régionales



Appareils d'appui changés en 2006

- Un profil en travers qui n'est plus adapté au trafic

2 - Pathologie de fragilité à basse température des ponts suspendus anciens

2.1 Effondrement de Sully sur Loire

Effondrement doublement dû à la fragilité des aciers :

- Rupture des tirants d'attache de câble de tête
- Effondrement car ensuite rupture d'une suspente et d'une membrure de poutre treillis

Rupture fragile : Rupture brutale sans déformation, en général sous effort rapide (quasi choc)

Comportement fragile <> comportement ductile

Rupture fragile : Peu d'énergie absorbée

Rupture ductile : Energie absorbée Importante

2.2- Campagne générale de caractérisations des aciers de ponts suspendus de 1985-1988 – suite à l'effondrement du pont de Sully

Menée par le LRPC Nancy – JP Persy

Quelques chiffres

Tous les ponts suspendus ont été analysés :

- 129 ponts suspendus
- 44 départements concernés
- 390 prélèvements pour analyse chimique + dureté + résilience + géométrie de filetage

2.3 - Le Pont Rapilly du Conseil Général Moselle



En hiver, les 4 chambres d'ancrage sont chauffées

06 / 10 / 11 : suite à une inspection détaillée, le CG57 appelle le LRNancy pour un gros souci



Forte corrosion des tirants à leur entrée dans le massif d'ancrage



→ Décision de fermeture du pont, investigations et recalcul du pont

Investigation urgente : Mesures des pertes de sections des 24 tirants x 4 chambres → résultats

	Chambre A	Chambre B	Chambre C	Chambre D
MOYENNE des pertes :	27,2%	33,5%	29,5%	29,0%
MAX des pertes pour un câble :	32,5%	39,7%	37,2%	32,7%
MAX des pertes pour un tirant :	37,1%	44,5%	39,9%	37,1%

3.1- Investigations – recalcul

Pour le recalcul : nécessité de connaître les caractéristiques mécaniques de l'acier des tirants (Re, Rm, A%)

NB : La campagne de caractérisation de 1985 (cf plus loin) de l'ensemble des aciers de ponts suspendus comprenait métallographie + analyse chimique + dureté + géométrie de filetage, ici pour 2 tirants.

- Ces essais avaient donné que ce pont a été jugé de risque 2 « risque de rupture fragile modéré sauf par température extrême » du fait des résiliences

Les manifestations régionales

des tirants (6 niveaux de risque - ordre décroissant)

- Les essais de dureté (avec au préalable la chimie et/ou métallographie pour classer le type d'acier) permettent de donner une évaluation de $R_m = 560 \text{ MPa}$ mais avec une dispersion $\pm 85 \text{ MPa}$ (nf en iso 18265) ici ($HV_5 = 173$) pour ces aciers doux ($\% C = 0,19\%$).
- Compte tenu de la pathologie et de l'enjeu → prélèvements de 3 morceaux de tirants (~1 par chambre..) et essais de traction sur 6 éprouvettes en os de chien

Les résultats mécaniques sont groupés et bons. La limite à la rupture est concordante avec la dureté (celle de 1985 et celle mesurée sur les tirants)

Les autres investigations ont été aussi : dureté-métallographie + chimie + résilience pour différentes températures

3.2 – Recalcul

30 novembre 2011 : Le recalcul est réalisé par le BE Corédia. Suite à avis du Sétra, le CG57 ré-ouvre le pont au trafic léger avec mise sous surveillance renforcée de l'ouvrage.

30 novembre 2011 : L'hiver approche. Le CG 57 demande au LRN un système de télésurveillance des températures des tirants dans les chambres.

3.3 - Hiver 2011/2012

L'hiver est là : Grand froid sur toute la France pendant 15 jours en février 2012

A l'échelle de la France, cet épisode est tout à fait exceptionnel : une telle vague de froid n'avait pas été observée dans le pays depuis janvier 1987. En termes d'intensité globale, il s'agit de la cinquième vague de froid la plus sévère observée depuis 1947 en France.

Hiver 1985 :

Station Orléans-Bricy : $-18,2^\circ\text{C}$ record de froid le 17/01/1985 (sur la période 1961-1990)

Effondrement du Pont de Sully sur Loire le 16/01/1985 à 07h40

Hiver 2012

Orléans : minimale $-16,4^\circ\text{C}$ le 07/02/2012

→ Le CG Loiret ferme certains ponts suspendus.

Metz : minimale $-14,8^\circ\text{C}$ le 05/02/2012

→ Le CG Moselle ferme le pont suspendu Rapilly.

La télésurveillance avait montré que le chauffage ne parvenait pas à relever suffisamment la température.



4 – Réparation ? Reconstruction ?

- Faisabilité technique
- Coût immédiat, coût sur la durée de vie
- Pérennité
- Exploitation, profil en travers limité (dangerosité pour les cyclistes et les piétons) et limitation en tonnage.

➔ Le Conseil Général décide de reconstruire l'ouvrage.

Il va donc y avoir démolition de ce pont suspendu. C'est l'occasion de l'instrumenter pour connaître un peu plus son comportement réel notamment les tirants d'ancrage.

5 - Instrumentations du pont Rapilly lors de sa démolition

5.1 - Instrumentation des tirants – Détermination des contraintes lors de la libération due à la démolition

But : Chaque câble est ancré par 4 tirants.

Lors du recalcul de l'ouvrage, la contrainte moyenne était majorée par 1,30 pour tenir compte de la dispersion entre les tensions des câbles et des tirants et des flexions parasites.

Si nous instrumentons les tirants (par jauges), nous pouvons compte tenu d'une contrainte finale nulle en fin de démolition remonter à la contrainte initiale de chaque tirant et savoir si le coefficient de 1,30 était ici adéquat.

Instrumentation des tirants – Détermination des contraintes

- Sous surcharge connue (un camion de 26 t d'épreuve)
- Passage du camion en dynamique (temps de montée en contrainte – fragilité)
- Les effets thermiques sont aussi accessibles si l'instrumentation est active en période froide et puis chaude

Les manifestations régionales

- Les charges permanentes à rebours (l'enrobé, la structure, les câbles)



Toute une chambre instrumentée

5.2 - Instrumentation des selles d'appui en tête de pylône

5.3 - Récupération de tirants avec section rétrécie

13 barres récupérées

Pour des essais de traction réels :

- $F_0 = FG_{perm}$ puis FG_{therm} puis $FQ(PL)$ suivant la vitesse de montée en charge enregistrée au passage PL
- Puis augmentation de la charge jusqu'à rupture pour évaluation coeff sécurité.



Ces instrumentations sont faites pour tirer des enseignements. Ainsi la démolition nécessaire sera aussi utile pour les autres ponts suspendus anciens.

5.4 - Contrôle des nuisances vibratoires

Lors des travaux réalisés sur la culée Est, une canalisation de transport d'oxygène située au pied de celle-ci et appartenant à Air Liquide, a été instrumentée.

Lors des travaux réalisés pour la démolition des pylônes présents sur les deux piles, il a été nécessaire d'instrumenter celles-ci afin de préserver l'intégrité du socle pour leur réutilisation dans le futur ouvrage:

6 – Instrumentations ou contrôles spécifiques lors de la reconstruction

6.1 - Contrôle de la construction métallique – ateliers Buyck

13 contrôles en usine

Contrôle métal et anticorrosion (personnes à double compétence)



6.1 - Contrôle de la construction métallique - sur site



17 contrôles sur site

6.2 - Contrôle des bétons

22 contrôles de bétonnage

6.3 - Suivi des micropieux et injections

6.4 - Contrôle – prévention de la RSI (réaction sulfatique interne)

Lors des bétonnages des éléments épais (ici 2,6 m d'épaisseur), le CG57 fait faire par le CETE-LRN une prévision du risque de RSI (selon le guide LCPC 2007) et si possible une instrumentation de vérification. Ici, vu l'importance de l'ouvrage un plot test de convenue a même été réalisé.

Les manifestations régionales

6.5 – instrumentation du Bowstring lors du lancement – Une Première !

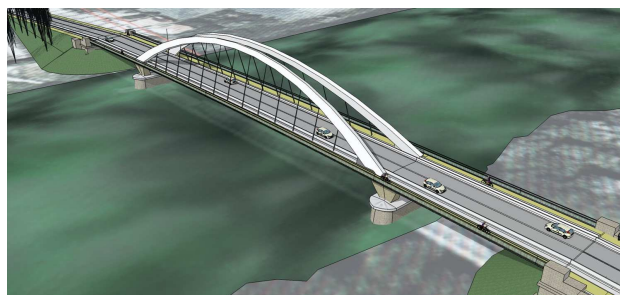


Suivi au théodolite des déplacements des palées lors du lancement

La conception du projet- Processus architectural

Laurent Barbier, Groupe Renaissance Architecte

Hervé Commun, Corredia



- Coefficient d'amplification du flambement élastique (α_{cr} , op # 10), courbe de flambement c ($\alpha=0.49$) et $\gamma_{M1} = 1.10$

Réalisation des palées provisoires (mars-mai 2013)



Réalisation des estacades d'accès (mars 2013)

- Matériaux : calcaire 150/600 mm
- Provenance : carrière de Malancourt La Montagne
- 19 000 tonnes de calcaire (yc rampe d'accès côté Hauconcourt)

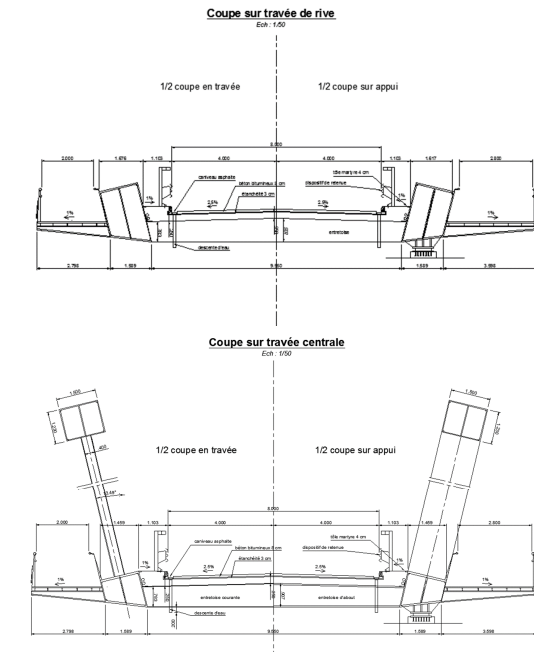


- Couche de finition en calcaire 50/150 mm pour le cheminement des engins
- Ripage de la rive droite à la rive gauche

Déconstruction de l'ancien pont

Principe général

- Utilisation des palées de lançage pour la dépose
- Pose du tablier sur les palées par détension des câbles
- Dépose des câbles depuis le tablier
- Dépose du tablier en reculant, par sciage du hourdis et de la charpente
- Démolition des piles



Déconstruction et reconstruction du pont Rapilly pour franchissement de la Moselle par la RD52 entre Hauconcourt et Ennery (57)

Benoît Scherer et Julien André – Demathieu Bard

Palées provisoires - Principe général

- 4 palées en Moselle (Variante entreprise)
- 4 tubes diam 1020 mm épaisseur 15 mm en S355 / Lg moy. $\approx 15,50$ m
- Encastrement dans le sol / Lg encastr. $\approx 6,00$ m
- Portique dans le sens longitudinal
- Contreventement dans le sens transversal
- Calcul avec ST1
- Prise en compte des défauts géométriques de réalisation dans la modèle de calcul



Principaux résultats

- Portance des tubes vérifiée avec $k_p=1.30$
- Tube en classe 4 selon EN1993-1-1 (diminution de la contrainte max à 283.4 MPa)
- Flambement des tubes vérifié selon méthode générale de l'EN1993-1-1 (article 6.3.4).

Palées provisoires

Dimensionnées pour le lançage

Ajout d'un profilé transversal pour supporter le tablier de l'OA existant

Pose du tablier sur palées - Mise au contact par vérins

- Recalcul des câbles porteurs en charge et à vide
 - Différence de flèche du câble porteur entre son état en charge et son état à vide = 822mm
- => Transfert de charge impossible par vérins
- Transfert de charge par détension des câbles
- => Découpe des suspentes une à une symétriquement par rapport à l'axe de l'ouvrage
- Etat des lieux des appuis à rouleaux, vérification par le calcul de l'adéquation du déplacement maxi des appuis

Phasage de dépose

Phase 1 : Vérinage de mise en contact sur chaque palée

Phase 2 : Dépose des 5 suspentes centrales

Phase 3 : Dépose des 5 suspentes suivantes symétriquement

Phase 4 : Dépose des 4 suspentes suivantes symétriquement

Phase 5 : Dépose des 3 suspentes centrales en travées de rives

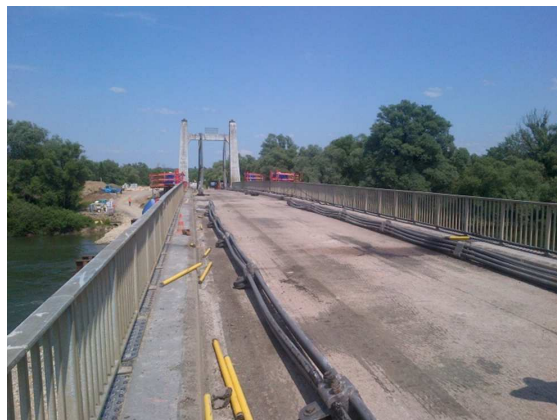
Phase 6 : Fin de dépose des suspentes

Début de découpe des suspentes (mi-juin 2013)



Dépose des câbles porteurs sur les tirants des piles (mi-juin 2013)

Dépose des câbles porteurs



Phasage de déconstruction après l'enlèvement des câbles

Montage de la palée AP 0

Ajout de la palée AP0 sur fondations superficielles pour supporter les charges de chantier sous la rive gauche



Phase 1 : travée AP3 / AP4

Sciage de la dalle Béton armé en blocs de 4 tonnes :

➔ Aspiration des eaux de sciage,

Mise en place d'un géotextile drainant pour les eaux non aspirées

Prise en charge et évacuation des blocs à l'extérieur de l'ouvrage à l'aide d'une pelle 20 tonnes équipée d'une pince



Phase 2

- Découpage de la structure métallique
- Accès à la nacelle depuis les 2 côtés de l'ouvrage
- Levage des tronçons métalliques à l'aide d'une grue 200 tonnes positionnée sur l'estacade rive gauche

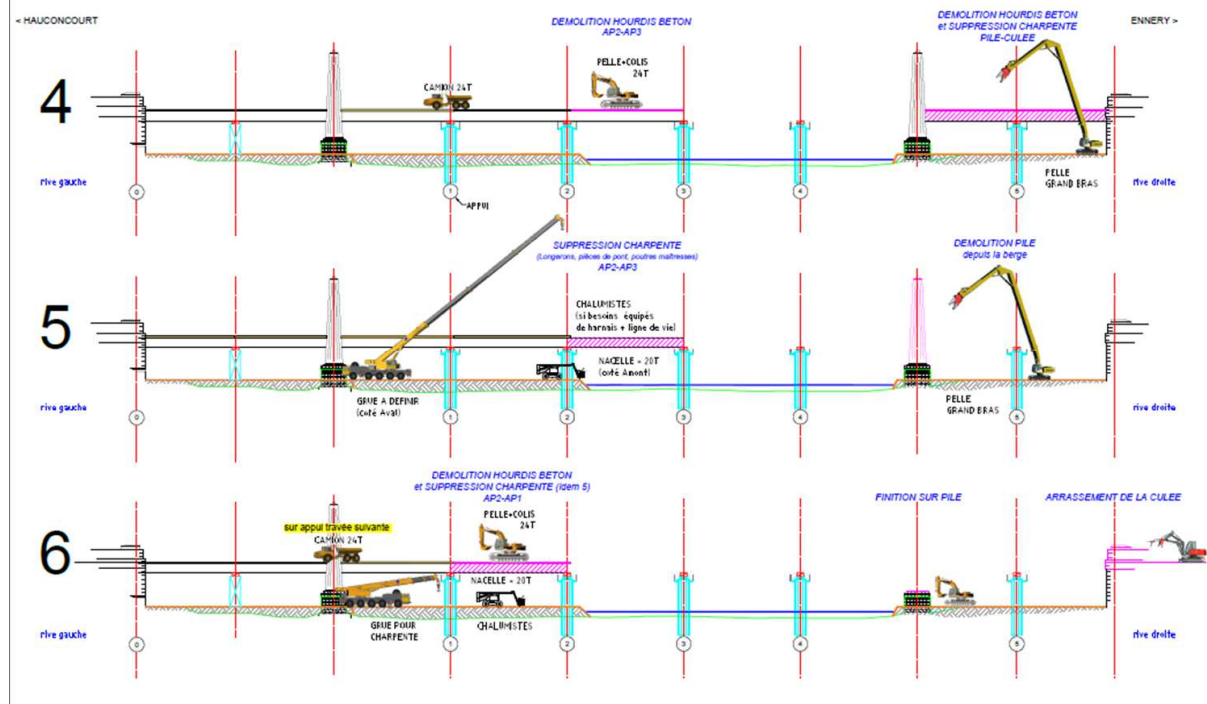


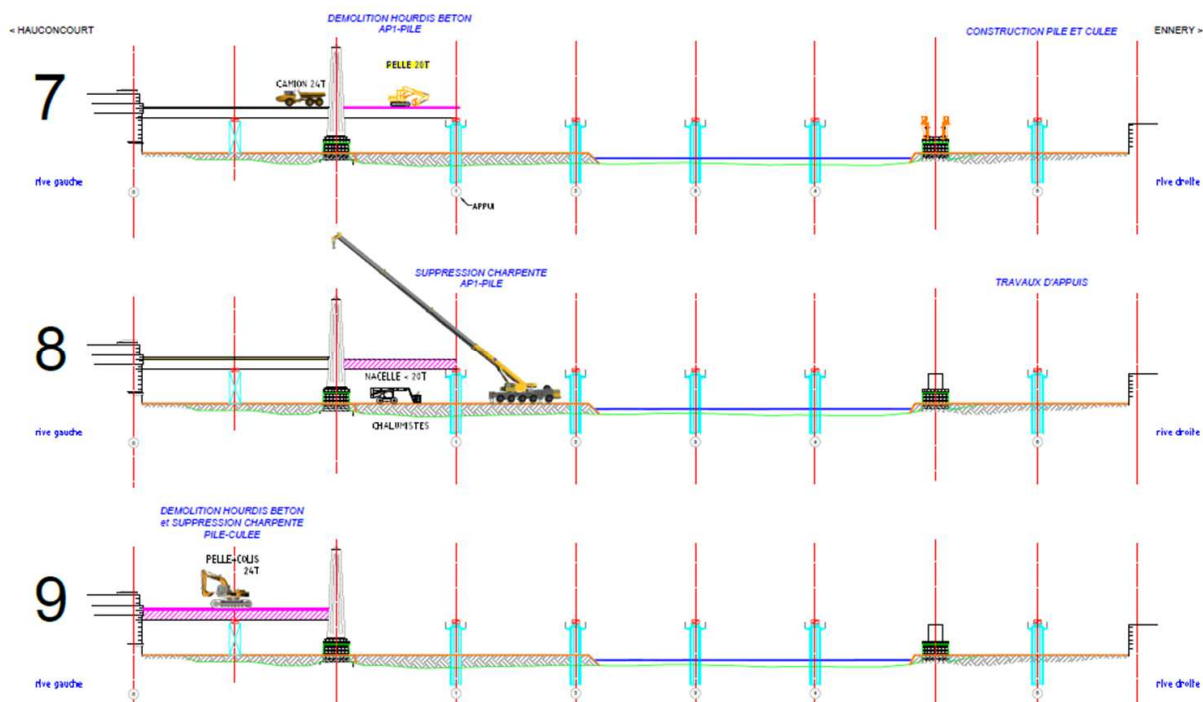
Phase 3

- Limitation des charges admissibles de chantier à 20 tonnes dû à la travée isostatique
- Accès à la nacelle depuis la berge rive droite
- Levage des tronçons métalliques à l'aide d'une grue 160 tonnes positionnée sur la berge



Phases 4 à 6





Démolition du tablier (fin juin 2013)



Démolition des culées

Contraintes multiples :

- Vibrations vis-à-vis des canalisations AIR LIQUIDE,
- Démolition soignée pour ne pas altérer les parements,
- Délais courts pour débiter les fondations par micropieux des semelles,
- Présence de barres précontraintes,

Choix technique :

- Détente des barres précontraintes au vérin creux,
- Pré-sciage à la scie pour ne pas détruire la maçonnerie,
- Utilisation d'un BRH depuis l'arrière de la culée avec contrôle des vibrations sur la canalisation d'oxygène Air Liquide
- Finition à la fraiseuse hydraulique

Détente des barres de précontraintes : Prestation sous-traitée à TSV

- 8 par culées
- 16 par piles



Démolition des piles

Contraintes multiples :

- Démolition soignée pour ne pas altérer la structure à conserver,
- Délais courts,
- Présence de barres précontraintes,

Choix technique :

- Détente des barres au vérin creux,
- Vibrations dans l'embase des piles contrôlées par moyen d'instrumentation du LRPC de Nancy et fixation des seuils,
- Démolition à la pelle grand bras jusqu'au chevêtre inférieur (vibrations admissibles)
- Sciage au câble diamant $\approx$ environ 60 m²/pile

- Fin de la démolition au BRH une fois le sciage réalisé, le trait de scie limite la propagation des ondes,



Reconstruction des culées

Réalisation de micropieux, des semelles, des poteaux et des chevêtres
Parement architecturé



Les manifestations régionales

Reconstruction des piles

Injection dans les piles
Parement architecturé
Couronnements préfabriqués sur chantier



Reconstruction du pont de Rapilly

La charpente métallique

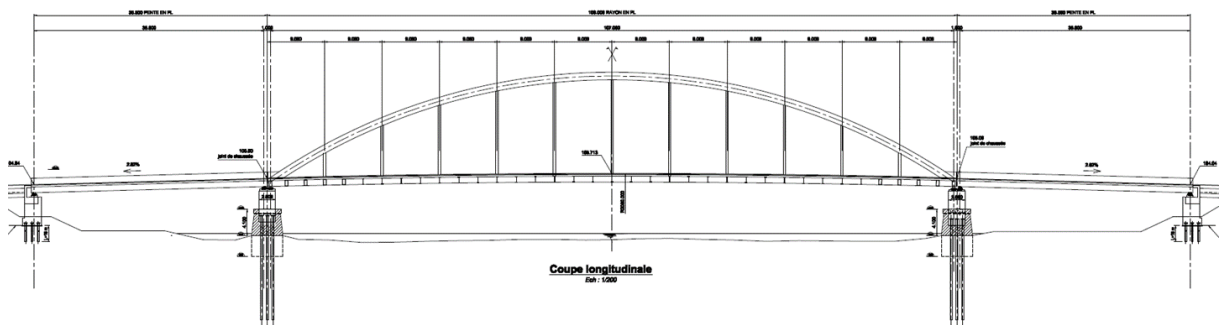
Patrick Van Severen – Victor Buyck Steel Construction

1. Général

L'ouvrage consiste de 3 tabliers métalliques:
2 tabliers de rive de 37m
1 bowstring de 108m

Organisation du projet :

Groupement Demathieu-Bard / Victor Buyck Steel Construction
Etude d'exécution charpente : IOA
Etude de Montage charpente: B.E. Victor Buyck – Paris
Traçage charpente: B.E. Victor Buyck - Eeklo
Fabrication des éléments dans les ateliers de VBSC en Belgique.



Chiffres clés:

Bowstring : 1280T d'acier
Travées de rive : 2 x 210T d'acier
Matériel de montage nécessaire pour l'assemblage /montage : 380T
160 T camarteaux

125 T tours de montage pour les arcs
22 T Avant bec
30 T Palées provisoires des travées de rive
43 T Balançoires et matériel de vérinage
Surface peinture: 14.000 m²
Nombre d'heures effectuées en atelier: 35.000 heures

Nombre d'heures effectuées sur chantier : 16.000 heures

2. Etude d'exécution

3. Fabrication en atelier

Oxycoupage des tôles

Assemblage des caissons

Section courante des tirants et arcs: assemblage par méthode classique: raidisseurs soudés sur 3 côtés

Section dans les naissances: indispensable pour continuer certaines soudures => trous d'homme à prévoir pour accéder aux soudures

Montage à blanc virtuel

Complexe peinture : C3ANV957: 2 couches appliquées en atelier

4. Expédition sur chantier



Transport des tronçons par camion

Position des joints de chantier en fonction du transport

Longueurs des tronçons < 28m

5. Assemblage sur site

Travées de rive mises en place sur position définitive sur palées provisoires

Travée centrale assemblée à proximité de l'ouvrage

Travées de rive

Montage à la grue mobile 300T depuis les estacades

Soudage et peinture depuis échafaudages suspendus
=> travail indépendant de la Moselle



Les manifestations régionales



Travée centrale

Assemblage du bowstring sur terrain d'assemblage

Positionnement des camarteaux sur le terrain d'assemblage

Mise en place des éléments du tablier + soudage

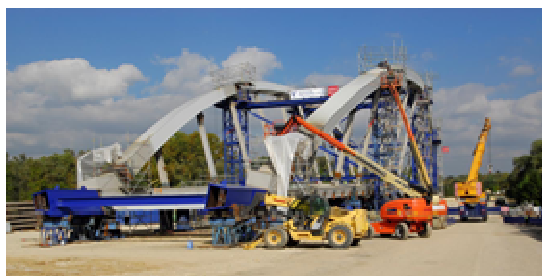
Mise en place des tours de montage

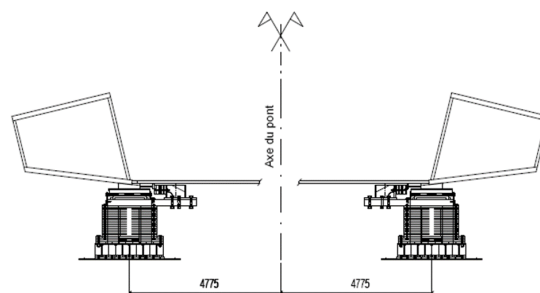
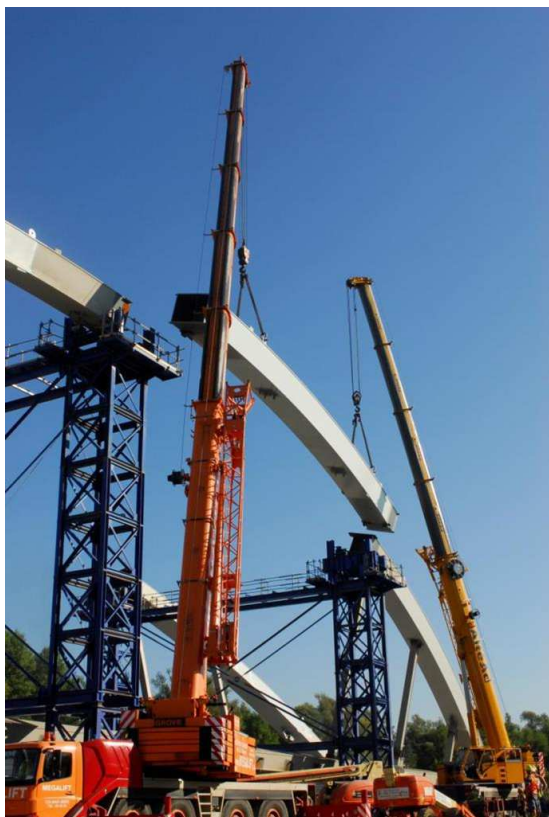
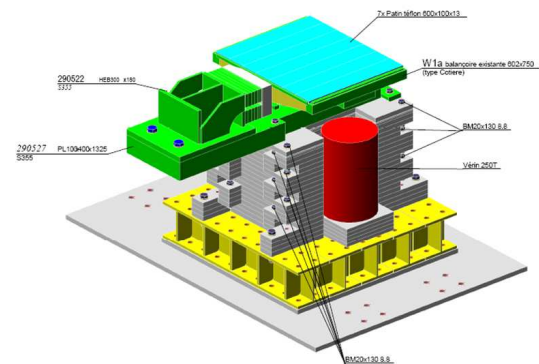
Montage des arcs et suspentes

Montage des échafaudages sur les arcs + soudage

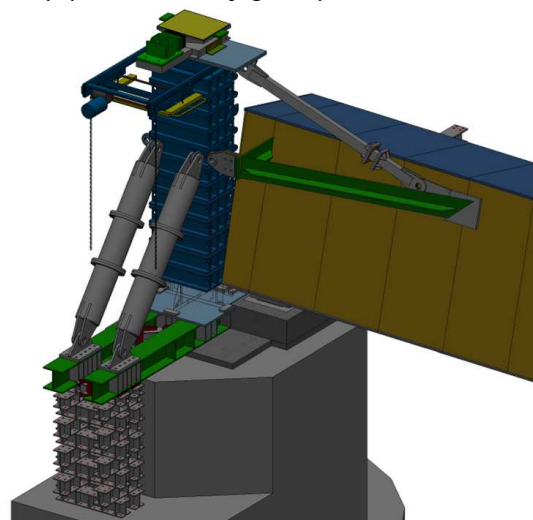
Montage des consoles

Mise en peinture





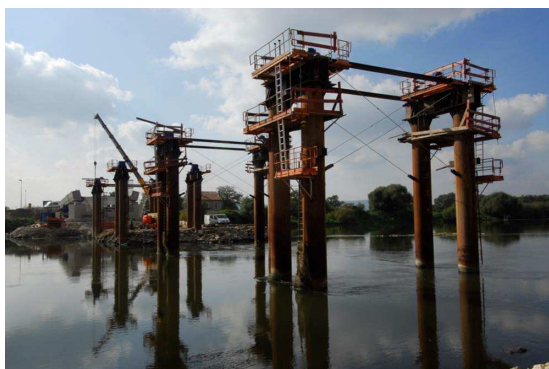
6.3. Equipements de lancement sur piles

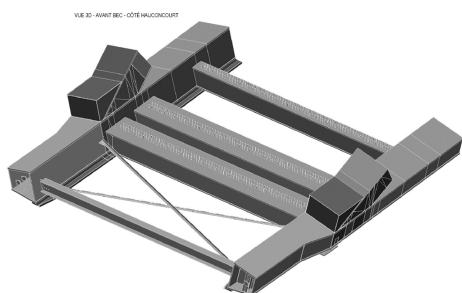


6. Equipements de lancement

6.1. Rail de lancement + guidage

6.2. Equipements de lancement sur palées provisoires





7. Lançage du bowstring

Remise en contact de la palée provisoire AP5 en-dessous de la travée de rive droite : pour reprendre une partie de la charge du lançage
Prise en charge du tablier par KAMAGS

Les manifestations régionales



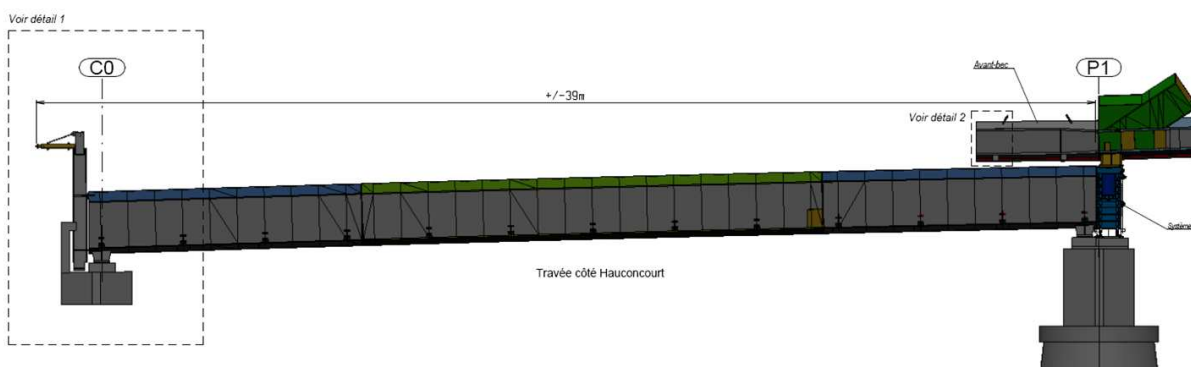
Lançage isostatique du bowstring:

Vérinage pour prise en charge sur AP4

Lançage jusqu'à AP4

Prise en charge sur balançoire de la pile P2

Evacuation des kamags avant



Le choix de la méthode finale est un compromis entre les paramètres suivants:

- Espacement des palées provisoires
- Renforcement local des âmes des tirants
- Renforcement d'un nombre de suspentes
- Ajout des diagonales provisoires
- Avant-bec et/ou arrière bec
- Dispositif de lançage : kamags et/ou vérins

8. Dévérinage du tablier

Après lançage du tablier, préparation du dévérinage:

Blocage du tablier sur les balançoires par taquets

Dépose des palées provisoires

Découpe de l'avant-bec

